



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

**SYSTÉM FLATCON – CCD DETEKCE STAVU PATNÍCH
MĚŘIČŮ S RF KOMUNIKACÍ**

FLATCON SYSTEM – CCD DETECTION OF MEDIA METERS WITH RF COMMUNICATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Lancz

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

BRNO 2017

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Michal Lancz

ID: 146885

Ročník: 3

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Systém FLATcon – CCD detekce stavu patních měřičů s RF komunikací

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhnete koncepci bateriově napájeného mikrokontrolérového systému pro CCD detekci stavu patních měřičů s komunikačním rozhraním 433MHz/868MHz. Systém navrhnete jako miniaturní systém vybavený mikrokontrolérem a nezbytnými vstupy/výstupy. Navrhnete elektroniku, realizujete DPS, osadíte a oživíte. Vybavte programovým vybavením, otestujte a demonstруйте funkčnost.

1. Provedte literární rešerši
2. Navrhnete koncepci systému a obvodové schéma
3. Realizujete DPS, osadíte a oživíte
4. Vytvořte programové vybavení, které otestujete a demonstруйте
5. Zhodnoťte řešení a demonstруйте jeho funkčnost

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Pavel Herout: Učebnice jazyka C, KOPP, 2004, IV. přepracované vydání, ISBN 80-7232-220-6

Dle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 6.2.2017

Termín odevzdání: 29.5.2017

Vedoucí práce: doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Bakalárska práca sa zaoberá návrhom konceptu batérievo napájaného miniatúrneho mikrokontrolérového systému pre CCD detekciu pätných meračov. Návrh konceptu FLATcon systému obsahuje nevyhnutné vstupy a výstupy pre komunikáciu mikrokontroléru s periférnymi zariadeniami. Cieľom práce je detekcia stavu pätného merača vybaveného analógovým číselníkom, uloženie nasnímaného obrazu spolu s časom snímania a následné preposlanie cez RF modul.

V bakalárskej práci je opísaný postup návrhu systému FLATcon, vyhotovenie a oživenie systému a testovanie periférnych zariadení.

Klíčová slova

Detekcia stavu pätných meračov, snímanie obrazu, hodiny reálneho času, RF komunikácia, FLATcon, STM32 mikroradič, RFM22B, koncept batérieového napájania, UART, I2C

Abstract

Bachelor's thesis deals with designing the concept of battery powered miniature microcontroller system based on CCD detection of media meters.

The FLATcon design concept contains the necessary inputs and outputs for communication with microcontroller and with peripheral devices. The aim of the thesis is to detect the state of a media meter equipped with an analogue dial, to save the scanned image along with the scanning time and forwarding through the RF module.

The bachelor thesis describes FLATcon system design, soldering and supplying the system and testing peripheral devices.

Keywords

Detection of media meter status, image capture, real-time clock, RF communications, FLATcon, STM32 microcontroller, RFM22B, battery-powered concept, UART, I2C

Bibliografická citace:

LANCZ, M. *Systém FLATcon – CCD detekce stavu patních měřičů s RF komunikací*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 49s. Vedoucí práce: doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou závěrečnou práci na téma Systém FLATcon – CCD detekce stavu patních měřičů s RF komunikací jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....
podpis autora

Pod'akovanie

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce doc. Ing. Zdeněkovi Bradáčovi, Ph.D. za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovaní mojej bakalárskej práce.

V Brne dňa

.....
podpis autora

Obsah

1	Úvod	1
1.1	Princíp FLATcon systému.....	1
1.2	Funkcia systému.....	1
2	Teoretický rozbor	3
2.1	Pätné merače	3
2.1.1	Vodomer	3
2.1.2	Plynomer	3
2.1.3	Elektromer	4
2.2	Sériová komunikácia	5
2.2.1	UART komunikácia	5
2.2.2	SPI komunikácia	6
2.2.3	I2C komunikácia	7
3	Návrh systému FLATCON	8
3.1	Prevodník USB na UART	9
3.1.1	Prevodník FT232RL	10
3.2	Mikrokontrolér	11
3.2.1	Komunikácia s FT232	12
3.3	Rádiofrekvenčný modul RFM22B	12
3.3.1	SPI rozhranie RF modulu	13
3.4	Hodiny reálneho času.....	14
3.5	Low Dropout Regulátory (LDO)	15
3.6	Pamäť	17
3.7	Batéria.....	18
3.8	Kamera.....	18
4	Vyhotovenie a oživenie Hardvéru.....	19
4.1	Vyhotovenie DPS.....	19
4.2	Napájanie a oživenie.....	20
5	Programovanie mikroradiča	23
5.1	Atollic TrueStudio.....	23
5.1.1	Zabudovanie STM32CubeMX do TrueStudio	23
5.2	Programovanie periférií.....	25
5.3	Hodiny reálneho času cez I2C	25
5.3.1	Zápis do RTC	26
5.3.2	Čítanie z RTC	27
5.4	Kamera C328 cez UART rozhranie.....	29
6	Záver	33
6.1	Zhodnotenie súčasného stavu.....	33

6.2 Návrh ďalšieho postupu.....	34
Zoznam použitých zdrojov	35
Zozname symbolov, veličín a skratiek	37
Zoznam príloh.....	38

Zoznam obrázkov

Obr. 1.1 Blokový diagram funkcionality	2
Obr. 2.1 UART dátový diagram.....	6
Obr. 2.2 SPI blokový diagram.....	7
Obr. 3.1 Blokový schéma FLATcon systému.....	9
Obr. 3.1 Prevodník rozhrania z USB na UART.....	10
Obr. 3.2 RFM22B.....	13
Obr. 3.3 Dáta cez SPI.....	13
Obr. 3.4 RFM modulu v programu Eagle.....	14
Obr. 3.5 LDO regulátory a SWDIO v EAGLE.....	15
Obr. 3.6 Blokový diagram kamery C328.....	18
Obr. 4.1 Dvojstranný DPS.....	19
Obr. 4.2 Zapojenie kondenzátorov na Vdd mikroprocesoru.....	20
Obr. 4.3 Napájanie a oživenie.....	21
Obr. 4.4 Testovanie kamery a RTC.....	22
Obr. 5.1 Nastavenie vývodov v CubeMX.....	24
Obr. 5.2 Nastavenie periférií v CubeMX.....	25
Obr. 5.3 Napíjanie RTC.....	26
Obr. 5.4 Zapojenie RTC v Eagle.....	26
Obr. 5.5 Vyčítané dáta z RTC.....	28
Obr. 5.6 Registre hodín reálneho času.....	28
Obr. 5.7 Jeden bajtový prevod z kamery.....	29
Obr. 5.8 C328 synchronizačný protokol.....	30
Obr. 5.9 Prijaté ACK a SYCNH signály z kamery C328.....	30
Obr. 5.10 Vývojový diagram uloženie dát z kamery.....	32

Zoznam tabuliek

Tab. 3.1 Porovnanie prevodníkov USB na UART	10
Tab. 3.2 Porovnanie MCU	11
Tab. 3.3 Porovnanie hodín reálneho času.....	15
Tab. 3.4 Porovnanie LDO regulátorov.....	17

1 ÚVOD

Táto bakalárska práca sa zaoberá návrhom mikrokontrolérového modulu FLATcon systému pre detekciu stavu pätných meračov.

Zjednodušene povedané, ide o systém slúžiaci na zaznamenanie merania množstva spotrebovanej energie u odberateľov v domácnostiach. Dodávateľ má tzv. na päte domu namontovaný fakturačný merač (z toho pochádza pomenovanie „pätný merač“), na základe ktorého účtuje náklady za dodanú energiu. Jedná sa predovšetkým o plynomery, elektromery a vodomery. Vo väčšine domácností tieto analógové merače zobrazujú aktuálny stav spotreby arabskými číslicami a sú umiestnené na rozhraní medzi domácnosťou a prípojkou.

FLATcon systém zaznamenáva aktuálny stav nameranej hodnoty pätných meračov a čas ich odpočtu s použitím kamerového záznamu. Pre šírenie dát medzi modulom FLATcon a ústredným modulom využívam rádiový frekvenčnú komunikáciu.

1.1 Princíp FLATcon systému

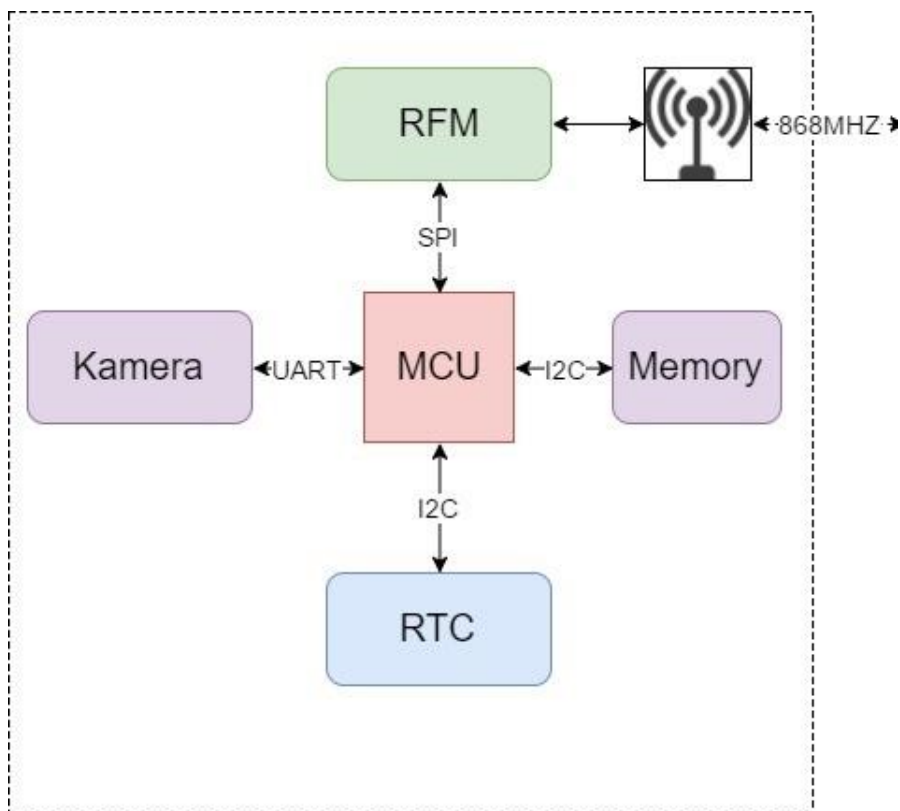
Vývoj technológií napreduje míľovými krokmi a neobchádza ani naše domácnosti. Inteligentnými systémami možno v nich dosiahnuť významné prevádzkové úspory a zvýšiť komfort bývania.

FLATcon systém zabezpečí spoluprácu medzi jednotlivými nainštalovanými zariadeniami a zjednoduší ovládanie objektu. Jeho úlohou je nameranie spotreby elektriny, plynu alebo vody, uloženie dát do tabuľky a ich preposlanie do centrálného modulu. Centrálny modul FLATcon systému následne vyhodnocuje tieto dáta a ďalej usmerňuje spotrebu energie domácnosti.

Vhodným nastavením súčinnosti hlavného modulu a koncových zariadení pri ekonomickom naplánovaní spotreby je možné doceliť významnú finančnú úsporu.

1.2 Funkcia systému

Úlohou FLATcon systému je v pravidelne určených intervaloch pomocou CCD snímača (kamery) zaznamenať obraz číselníka pätného merača a tento obraz uložiť do pamäte modulu.



Obr. 1.1 Blokový diagram funkcionality

Mikrokontrolér vykoná nasledovné úkony:

1. nasnímaný obraz zaznamená a uloží do pamäte
2. zaznamenáva presný čas snímania
3. inicializuje komunikáciu cez rádiový modul
4. preposiela dáta do centrálného modulu
5. úspešne preposlané dáta vymaže z pamäte

2 TEORETICKÝ ROZBOR

Táto kapitola sa zaoberá popisom základných typov pätných meračov použitých v domácnostiach a popisom komunikačných rozhraní, ktoré boli použité pri návrhu FLATcon systému.

2.1 Pätné merače

2.1.1 Vodomer

Vodomer je zariadenie určené na meranie objemu pretečenej vody. Každá domácnosť, ktorá je napojená na vodovodnú prípojku musí mať vodomer. Väčšina domácností má lopatkový rýchlostný vodomer s analógovým číslicovým zobrazovačom stavu pretečenej vody.

Prúdica tekutina (voda) uvedie do rotačného pohybu sústavu vhodne usporiadaných plôch, ktorými môžu byť buď optimalizované lopatkové turbíny alebo ploché lopatky vodného kolesa. Lopatkové merače na rozdiel od turbínkových meračov majú orientované lopatky kolmo na smer prúdenia.[4]

Ďalšou možnosťou merania spotreby vody je pomocou ultrazvukového vodomera. Je založený na princípe skladania vektora rýchlosti tekutiny a vektora rýchlosti šírenia ultrazvukovej vlny.[4] V závislosti od rýchlosti prúdenia vody sa bude meniť rýchlosť ultrazvuku. Výhodou tohto merača je, že sa dá naimplementovať na vodovodné potrubie bez mechanického prerušenia potrubia. Nevýhodou sú finančné náklady vodomeru.

V bežných domácnostiach sa najčastejšie vyskytujú lopatkové alebo turbínkové merače vody s analógovým číselníkom. Väčšinou sú už vybavené rozhraním pre modul diaľkového odčítania, vďaka čomu je možnosť kedykoľvek zaradiť vodomer do siete diaľkového odčítania vodomerov.

Keďže sa FLATcon systém nedá pripojiť priamo na vodomer, aktuálny stav vodomeru sprostredkujeme snímaním obrazu z číselníka vodomeru použitím kamery.

2.1.2 Plynomer

Plynomer slúži na meranie objemu spotrebovaného plynu u odberateľa a jeho množstvo sa udáva na meradle obyčajne v metroch kubických. Uvedená spotreba sa vo vyúčtovacej faktúre prepočítava aj na množstvo energie v plyne v kWh.

Plynomery používané v domácnostiach môžeme deliť na:

- Membránové
- Rotačné a turbínové [9]

Dnešné domové plynomery počas posledných desaťročí prešli významným inovačným vývojom a vyhovujú tak najvyšším požiadavkám bezpečnosti a presnosti merania.

2.1.3 Elektromer

Elektromer je vlastne elektrický merací prístroj, ktorý slúži na meranie množstva odobratej elektrickej energie. Pomocou neho distribučné spoločnosti vyhotovujú pre odberateľa vyúčtovanie o spotrebovanej elektrickej energii. Majiteľom elektromera je dodávateľ elektrickej energie, ktorý zabezpečuje jeho inštaláciu, zapojenie či prípadnú výmenu.

Meraný prúd a napätie prechádza cez elektromer. V bežnej domácnosti sa používa elektromer s priamym meraním. Tieto merače sa používajú pri meraniach do 80A v závislosti od distribútora.

Výroba elektrickej energie kladie vysoké nároky na organizáciu jej výroby, nakoľko je spotreba elektrickej energie počas dňa nerovnomerná. V priebehu dňa je spotreba elektriny vyššia a v noci zase nižšia. Vznikajú tzv. energetické špičky, počas ktorých je zvýšený odber elektrickej energie z rozvodovej siete. Dodávateľia si za odber v tomto časovom úseku účtujú vyššiu cenovú tarifu než mimo nej.

Dnes už prebieha náhrada starých, menej inteligentných elektromerov na takzvané inteligentné meracie systémy (IMS) resp. Smart Metering, ktoré umožňujú zber, spracovanie a prenos nameraných údajov o výrobe alebo spotrebe elektriny. Tento elektronický systém je schopný okrem merania spotreby energie pridávať k tomu viac informácií ako konvenčné meradlo, a ktorý je schopný vysielat' a prijímať dáta s využitím niektorej formy elektronickej komunikácie. Správne zaobchádzanie s IMS docieli nižšiu faktúru za elektrinu.

Inteligentný merací systém by mal v konečnom dôsledku priniesť výhody pre všetkých účastníkov trhu. Pre zákazníkov sa otvára priestor na úsporu a korigovanie spotreby elektriny, a to na základe relevantných údajov o stave spotreby. Dodávateľia elektriny môžu od IMS očakávať nové príležitosti pri vytváraní cenovo výhodných balíkov pre zákazníkov, optimalizáciu pohľadávok, detailnejšie podklady pre fakturáciu, a teda zníženie nákladov na obslužné kanály v komunikácii so zákazníkmi. [2]

2.2 Sériová komunikácia

Sériová komunikácia je proces prenosu dát medzi dvoma zariadeniami. Prenos dát sa uskutočňuje po jednom vedení pomocou alebo bez pomoci hodinového pulzu. Naproti tomu paralelná komunikácia využíva na prenos dát viac vedení.

Synchrónna sériová komunikácia má spárovaný dátový vodič s vodičom hodinového signálu.

Asynchrónna sériová komunikácia nevyžaduje hodinový signál. Do prenosu dátových sekvencií je nutné pridať štartovacie a ukončovacie bity. Pripojenie viacerých periférnych zariadení na sériovú zbernicu so synchrónnou komunikáciou vyžaduje prepojenie hodinového signálu so všetkými zariadeniami na zbernici.

Príklady sériovej komunikácie:

- RS-232
- I2C
- USB
- PCI-Express
- CAN-BUS
- UART [10]

2.2.1 UART komunikácia

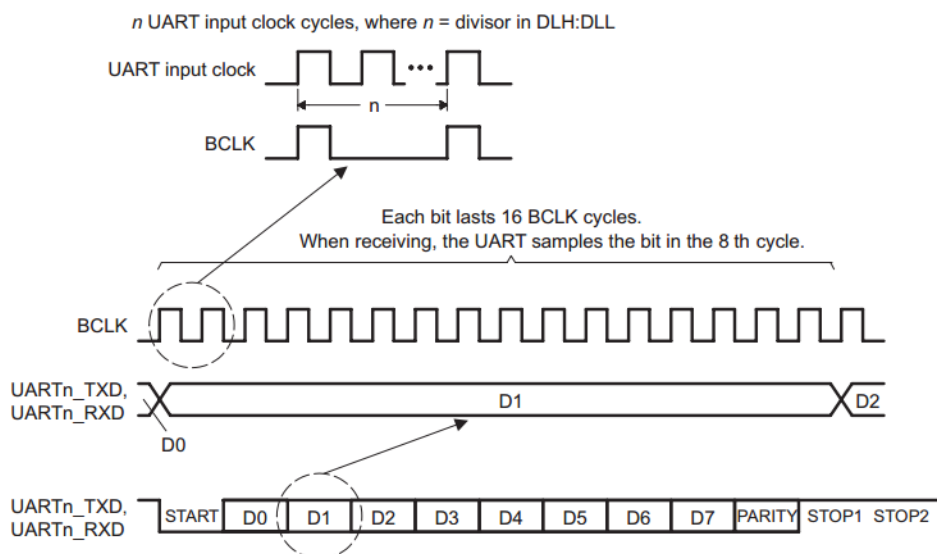
UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) je rozhranie medzi dvoma zariadeniami pre prevod dát sériovou asynchrónnou komunikáciou. To znamená, že pri prepojení dvoch zariadení cez UART rozhranie netreba použiť samostatný vodič pre hodinový signál. UART je založený na elemente asynchrónnej komunikácie priemyselného štandardu TL16C550.

UART rozhranie vykonáva sériovo paralelnú konverziu na údajoch získaných od periférneho zariadenia a paralelne sériovú konverziu údajov získaných od CPU.

V mojom projekte použijem mikroprocesor STM32L152. Rýchlosť prenosu dát na UART výstupoch tohto MCU sa dajú nastaviť v rozmedzí 33bits/s - 131,062 Kbits/s.

Na obrázku 2.1 je znázornený príklad UART prenosu. UART prenos obsahuje jeden štartovací bit, datové bity (obvykle 5 až 8), jeden paritový bit a jeden alebo dva stop bity. Štartovací bit znamená začiatok prenosu a stop bit znamená jeho koniec prenosu. Paritový bit je nepovinný, slúži ako kontrola súčtu párnych alebo nepárnych logických jednotiek prenosu. [11]

Figure 2-2 Relationships Between Data Bit, BCLK, and UART Input Clock



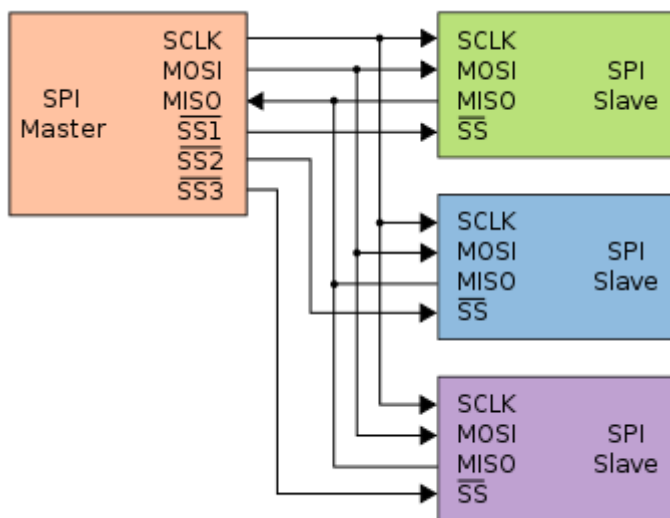
Obr. 2.1 UART dátový diagram [11]

2.2.2 SPI komunikácia

SPI je vysokorýchlostné synchrónne sériové rozhranie, ktoré umožňuje sériový bitový prúd programovanej dĺžky 2 až 16 bitov. SPI umožňuje komunikáciu viacerých periférnych zariadení na SPI zbernici. Všetky koncové zariadenia sú označené ako SLAVE a hlavný modul je označený ako MASTER.

Na obrázku 2.2 je znázornené pripojenie troch nezávislých koncových zariadení na hlavný modul. SCLK je spoločný signál hodinového pulzu. Vedenie MOSI (MASTER output SLAVE input) je dátový výstup z MASTER a dátový vstup do SLAVE. Vedenie MISO (MASTER input SLAVE output) je dátový výstup z koncového zariadenia do hlavného modulu.

Hlavný modul má zhodný počet výstupov SS (SLAVE select) s počtom koncových zariadení. Hlavný modul nemôže komunikovať s viacerými periférnymi zariadeniami súčasne. Komunikácia medzi hlavným modulom a koncovým zariadením prebieha za podmienky, ak je vývod SLAVE SELECT medzi MASTER-om a SLAVE-om v stave logickej 1.



Obr. 2.2 SPI blokový diagram [3]

2.2.3 I2C komunikácia

I2C komunikácia je sériové dvojvodičové rozhranie určené na prenos dát. I2C zbernica obsahuje vodič SCL pre hodinový signál a vodič SDA pre dátový prenos. Oba tieto vodiče musia byť prepojené na napájacie napätie U_{cc} cez pullup rezistor. Prenos dát sa môže inicializovať, keď je zbernica nečinná t.z., keď SDA a SCL sú v stave logická 1.

Postupnosť I2C komunikácie medzi MASTER a SLAVE zariadeniami:

1. MASTER posiela dáta SLAVE zariadeniu:

- MASTER vysielateľ prepošle START podmienku a adresu SLAVE prijímaču
- MASTER vysielateľ prepošle dáta SLAVE prijímaču
- MASTER vysielateľ ukončí komunikáciu so SLAVE zariadením zaslaním STOP podmienky

2. MASTER vyčíta dáta zo SLAVE zariadenia:

- MASTER prijímač prepošle START podmienku a adresu SLAVE vysielачu
- MASTER prijímač prepošle žiadosť čítania pre SLAVE vysielач
- MASTER prijímač vyčíta dáta zo SLAVE vysielачa
- MASTER prijímač ukončí komunikáciu so SLAVE zariadením zaslaním STOP podmienky [13]

V mojom projekte cez I2C rozhranie komunikujú obvody hodiny reálneho času a EEPROM pamäť.

3 NÁVRH SYSTÉMU FLATCON

Táto kapitola sa zaoberá výberom a popisom komponentov v systéme FLATcon. Na začiatku je opísaná funkcia systému a ďalej sú opísané komponenty, ktoré sú vo FLATcon systéme použité. Jednotlivé komponenty sú porovnané v tabuľkách získaných z internetového obchodu. [20]

Úlohou systému FLATcon je:

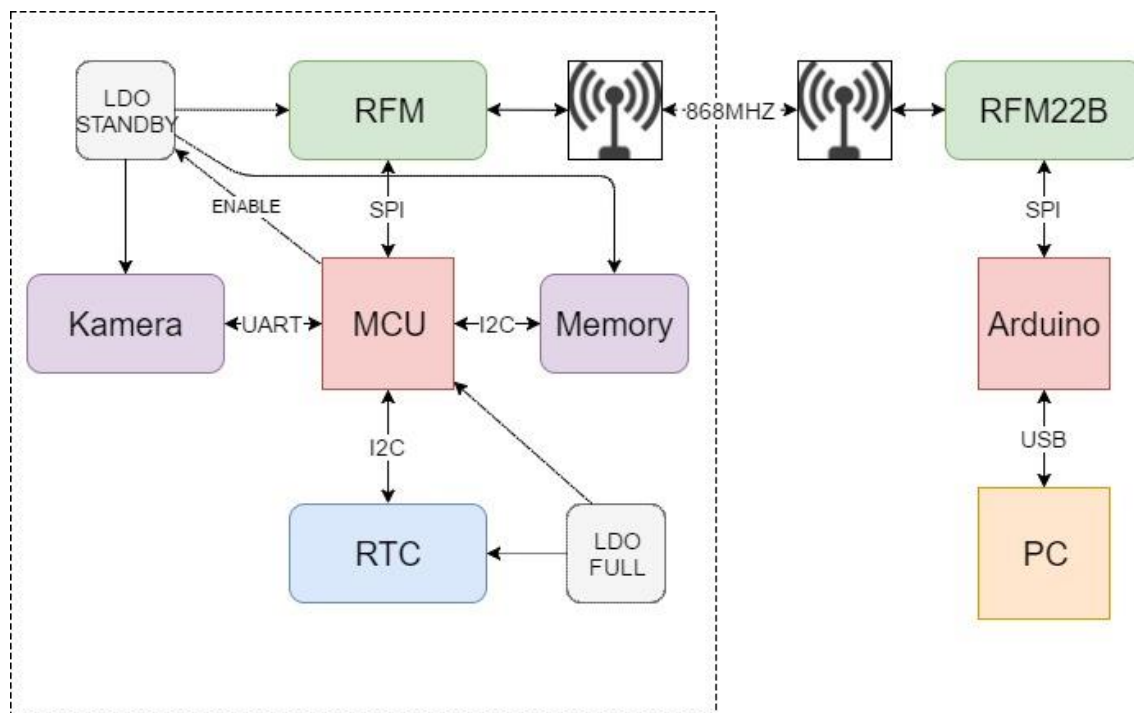
- nasnímanie pätného merača
- uloženie času a vyhotoveného snímku do pamäte
- preposlanie dát v pravidelných časových intervaloch cez RF modul do centrálného FLATcon systému.

Tento systém je navrhnutý tak, aby v režime batériového napájania vydržal fungovať čo najdlhšiu dobu.

Pri výbere súčiastok bola smerodajná ich nízka energetická spotreba a požiadavka zo zadania práce na miniaturizáciu systému FLATcon.

Systém som navrhol tak, aby počas pohotovostného režimu mal minimálnu spotrebu, a aby batéria napájala iba potrebné súčiastky. To znamená, že potrebné súčiastky ako mikrokontrolér a hodiny reálneho času budú napájané z batérie nepretržite cez osobitný regulátor a ostatné periférne zariadenia budú napájané ďalším samostatným regulátorom. Nakoľko uvedené dve súčiastky budú v pohotovostnom režime neustále napájané, je mimoriadne dôležité, aby ich spotreba bola čo najnižšia. Ďalšie súčiastky (kamera, RFM, pamäť) budú aktívne len v prípade potreby.

Z toho dôvodu som navrhol napájanie systému dvoma LDO regulátormi. Jeden regulátor (LDO_FULL) napája kameru, RFM modul a pamäť a je vybavený funkciou spínania. Spínanie je kontrolované mikroprocesorom. Druhý regulátor (LDO_STANDBY) napája mikrokontrolér a hodiny reálneho času a nie je vybavený spínačom.



Obr. 3.1 Blokový schéma FLATcon systému

Pri výbere súčiastok som dospel k záveru, že väčšina z nich vyžaduje napájacie napätie 3,3V. Táto skutočnosť bola jedným z rozhodujúcich faktorov pri ich výbere. Pri návrhu systému som rozšíril možnosť komunikácie aj cez USB rozhranie, aby sa nasnímaný obraz a dáta uložili do počítača cez sekundárny kanál. Komunikácia na USB rozhraní vyžaduje prevodník USB na UART.

3.1 Prevodník USB na UART

V práci som sa rozhodol používať mikrokontrolér z rodiny STM32. Väčšina mikrokontrolérov však neobsahuje USB rozhranie a preto bolo nutné pridať do obvodu prevodník z USB na UART rozhranie.

Jednou z výhod prepojenia FLATcon systému cez USB rozhranie je skutočnosť, že obsahuje jednosmerné napájacie napätie 5V. Rozhodujúcimi faktormi pri výbere prevodníka USB boli :

- rýchlosť prenosu dát
- cena
- dostupnosť
- púzdro (SMD)

Dvaja najväčší výrobcovia prevodníkov USB na UART sú spoločnosti FTDI so sídlom Glasgowe (UK) [18] a Silicon Laboratories so sídlom v Austine, Texas (USA) [19]. Mojou prvotnou voľbou boli dva prevodníky a to výrobok FT232 od firmy FTDI a produkt CP2102 od firmy Silicon Laboratories.

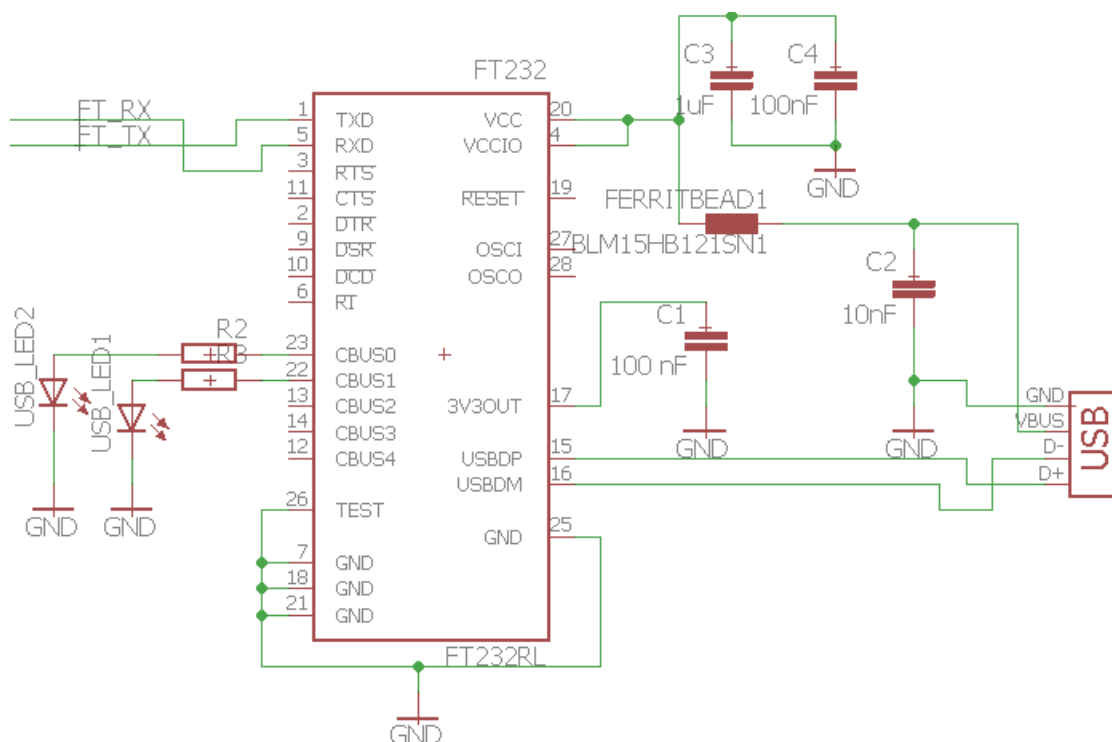
Tab. 3.1 Porovnanie prevodníkov USB na UART

Názov	FT232	CP2102
Výrobce:	FTDI	Silabs
Púzdro	SSOP-28	QFN-28
Styl montáže:	SMD	SMD
Cena v EUR	4,24 €	2,59 €
Rýchlosť prenosu	12 Mb/s	12 Mb/s

Nakoniec som vybral FT232, lebo je dostupnejší z internetových zdrojov a vývody puzdra sú pájkovateľné bez teplovzdušného letovania.

3.1.1 Prevodník FT232RL

FT232R je konverter USB na sériové UART rozhranie. USB protokol je ovládaný v jednom chipe a netreba pridávať žiadny firmware. Má zabudovaný generátor hodinového pulzu. Integrovaný obvod vyžaduje napájacie napätie od +3,3V do +5.25V.



Obr. 3.1 Prevodník rozhrania z USB na UART

Na obrázku 3.1 je znázornené zapojenie FT232 prevodníka v programe Eagle. USB_LED1 a USB_LED2 slúžia na indikáciu prebiehajúcej komunikácie.

USB DP - vývod pre USB dátový signál plus

USBDM - vývod pre USB dátový signál mínus
VCC - napájací vstup pre +3.3 až +5.25V
GND - vývody musia byť uzemnené.
VCCIO - slúži na napájanie UART rozhrania.[14]

3.2 Mikrokontrolér

Mikrokontrolér je špeciálny druh mikroprocesora pre koncové aplikácie a je to vlastne centrálna časť FLATcon batériového modulu. Úlohou mikroradiča je načítať obraz z kamery, uložiť do pamäte a následne v určených časových intervaloch preposielať dáta do hlavnej centrálnej jednotky cez RFM modul.

Výber mikroradiča ovplyvňovali nasledujúce požiadavky:

- Malá spotreba a napájacie napätie 3.3V
- Vstupy a výstupy pre periférie
- Dostatočná programovacia pamäť
- Zabudovaný zdroj hodinového signálu
- cena

Na trhu existuje široká škála vyhovujúcich MCU, ale pri výbere hrala dôležitú rolu jeho spotreba energie. Do mojej práce potrebujem okrem dvoch I2C rozhraní (hodiny reálneho času a pamäť) aj tri UART rozhrania (jeden prevodník na FT232 a dve na kamery). SPI rozhranie je potrebné pre komunikáciu s RFM22B modulom.

Tab. 3.2 Porovnanie MCU

Č. časti Mouser:	556-ATSA M3N0CA-AU	595-TM4C 123GE6PZT7	595-TM4C 1231D5PZI	511-STM32L 152VBT6	511-STM32L 152V8T6
Výrobce:	Atmel	Texas Instruments	Texas Instrument s	STMicroelectr onics	STMicroelectr onics
Paket / krabice:	LQFP-100	LQFP-100	LQFP-100	LQFP-100	LQFP-100
Vel. dat. RAM:	8 kB	32 kB	24 kB	16 kB	16 kB
Vel. progr. mem:	32 kB	128 kB	64 kB	128 kB	64 kB
Max. frkv. hod.:	48 MHz	80 MHz	80 MHz	32 MHz	32 MHz
prvz. nap. nap.:	1.8 V to 3.6 V	3.3 V	3.3 V	1.65 V to 3.6 V	1.65 V to 3.6 V
Typ rozhraní:	-	CAN, I2C, SSI, UART, USB	CAN, I2C, SSI, UART	I2C, SPI, USART, USB	I2C, SPI, USART, USB
Cena	131,19 Kč	283,75 Kč	174,74 Kč	166,63 Kč	155,00 Kč

Pre moju aplikáciu som vybral ako najvýhodnejší mikroradič STM32L152VBT6. Tento mikrokontrolér obsahuje 3x USART, 2x SPI a 2x I2C. UART rozhranie využijem pre komunikáciu s obvodom FTDI a kamerou (alebo kamerami), SPI rozhranie je potrebné pre komunikáciu s RFM22B rádiový frekvenčným modulom. I2C rozhranie je potrebné pre komunikáciu s hodinami reálneho času a EEPROM pamäťou.

Mikroprocesor je vybavený 128 KByte Flash pamäťou, 32KByte RAM pamäťou, 4 KByte EEPROM pamäťou. Ďalej obsahuje 10 časovačov z toho 8x 16 bitový časovač a 2x watchdog časovač. Mikroprocesor z rodiny STM32L má možnosť prepínania medzi režimami nízkych výkonov a má veľmi nízku spotrebu. Preto je vhodný pre systémy napájané batériou.

Mikroprocesor disponuje nasledovnými nízkospotrebnými režimami:

- **Sleep mode** (Vypnuté je iba CPU, všetky periférie sú zapnuté a CPU sa zapne v prípade prerušovacieho signálu)
- **Low power sleep** (clock frekvencia a periférie sú obmedzené)
- **Standby** (oscilátor HSE je vypnutý, LSE a LSI sú zapnuté, nasledujúce RAM Standby registre nestratia obsah : wakeup logic, IWDG, RTC, LSI, LSE Crystal 32K osc, RCC_CSR)

3.2.1 Komunikácia s FT232

Konverter FT232RL prevedie signál cez UART rozhranie mikrokontroléra na USB interface.

Mikrokontrolér STM32 môže mať výstup TX na vývodoch PC10 alebo PC12 a vstup RX na vývodoch PC11 alebo PD2.

Aby komunikácia prebiehala úspešne, je nutné prepojiť TX výstup z mikroprocesora s RX vstupom prevodníka FT232 a naopak. Rýchlosť prenosu dát je 3Mbaud (12Mbit/s)

3.3 Rádiový frekvenčný modul RFM22B

RFM22B je bezdrôtový vysielač a prijímač, ktorý je schopný pracovať na frekvenciách 433 MHz alebo 868 MHz. Odporúčané napájacie napätie má 3,3V.

Vstupný prúd počas prijímania dát je 18,5 mA a počas vysielania dát je 85 mA.

Prijímač má citlivosť -121dBm. Vysielač má nastaviteľný vysielač výkon +1 až +20dBm [8]



Obr. 3.2 RFM22B

Použil som transceiver RFM22B s komunikačným modulom, ktorý pracuje na frekvencii 868MHz.

3.3.1 SPI rozhranie RF modulu

Ako rádiový modul som vybral RFM22B na základe odporúčania môjho konzultanta.

RFM22B komunikuje s mikrokontrolérom cez SPI rozhranie. Toto rozhranie obsahuje štyri vedenia (SCLK, SDI, SDO, nSEL).

SCLK – signál hodinového pulzu

SDI – dátový signál (Serial data input)

SDO – dátový signál (Serial data output)

nSEL – Výber zariadenia na zbernici (Serial interface select alebo SS – slave select)

Mikroradič vyčítava dáta z SDO výstupu rádiový modul. Signál SPI obsahuje 16 bitové sekvencie. Prvý bit sekvencie označuje smer toku dát z RFM modulu do mikroprocesora alebo naopak (logická 0 = smer z RFM do MCU, logická 1 = smer z MCU do RFM). Po tomto bite nasleduje 7 bitová adresa (ADDR) registra a 8 bitová dátová časť (DATA) znázornený na obrázku:

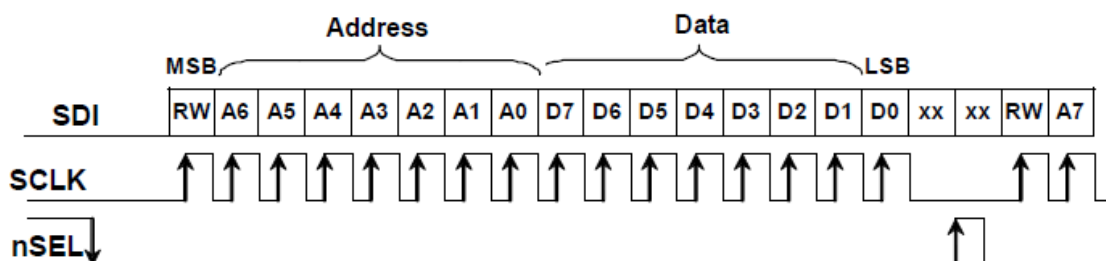


Figure 3. SPI Timing

Obr. 3.3 Dáta cez SPI [8]

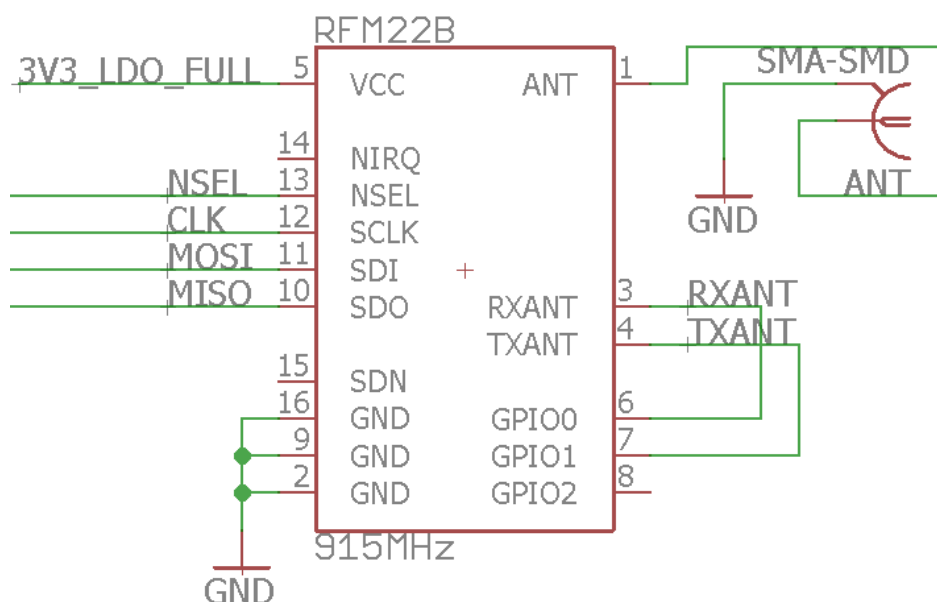
Bity adresového pola definujú jednu zo 128 8-bitových registrov. Bit R/W rozhoduje, či RF modul bude signál prijímať alebo vysílať.

V prípade čítania dát z RFM22B modulu je prvý bit sekvencie logická 0, po ktorom nasleduje 7-bitová adresa registra, z ktorého sa má čítať. Nasleduje 8 bitov dát, ktoré sa ignorujú na SDI vývode RF modulu v prípade, ak je bit R/W nastavený na hodnotu 0. Tieto dáta na danom registri budú dostupné na SDO výstupe.

Po dokončení funkcie READ zostane vývod SDO v logickej hodnote v závislosti od posledného dátového bitu (D0) t.j. v stave logickej 1 alebo logickej 0.

Vývod SDO sa nastaví do logickej 1 pomocou vnútorného pullup rezistora, ak je nSEL v stave logickej 1. [8]

Zapojenie RFM22B modulu k mikrokontroléru cez SPI rozhranie je znázornené na obrázku č. 3.4:



Obr. 3.4 RFM modulu v programu Eagle

Rádiofrekvenčný modul som zapojil na mikroprocesor podľa odporúčaní v návode od výrobcu.

3.4 Hodiny reálneho času

Hodiny reálneho času (RTC) sú integrované obvody, ktoré udržuujú údaje o aktuálnom čase. Vo FLATcon systéme je podmienkou presné meranie času v okamihu snímání obrazu. Integrované obvody s tepelnou kompenzáciou sú veľmi presné aj v prostredí bežnej domácnosti. Obvody RTC bez tepelnej kompenzácie pri zmene teploty vykazujú nepresnosti v meraní času.

Teplotný výkyv môže spôsobiť zmenu frekvencie oscilátora takýchto obvodov a ten zapríčiní časový posun.

RTC obvody komunikujú obvykle na I2C komunikačnom rozhraní.

Pre navrhnutý FLATcon systém som vybral také hodiny reálneho času, ktoré disponujú okrem registrov na počítanie rokov aj registrami pre nastavenie alarmu.

Tab. 3.3 Porovnanie hodín reálneho času

Č. časti výrobcu:	DS1307+	DS3231SN #	M41T56M6F	BQ32000DR
Výrobce:	Maxim Integrated	Maxim Integrated	STMicroelectronics	Texas Instruments
Paket / krabice:	PDIP-8	SOIC-16	SOIC-8	SOIC-8
Série:	DS1307	DS3231SN	M41T56	BQ32000
Značka :	Maxim Integrated	Maxim Integrated	STMicroelectronics	Texas Instruments
Styl montáže:	Through Hole	SMD/SMT	SMD/SMT	SMD/SMT
Sběrn. rozh. RTC :	Serial, I2C	Serial, I2C	Serial, I2C	Serial, I2C
Formát data:	YY-MM-DD	DW:DM:M :Y	DW:DM:M:Y	DW:DM:M:Y
Prov. nap. proud:	0.01 uA	0.84 uA	0.45 uA	1.2 uA
Formát času :	HH:MM:SS	HH:MM:SS	HH:MM:SS	HH:MM:SS:hh
Přep. na zál.bat.:	-	Backup Switching	Backup Switching	Backup Switching
Cena v Kč	81.69	244.26	67.63	50.85

Pre aplikáciu FLATcon modulu som vybral RTC obvod typu: DS3231SN. Tento obvod obsahuje tepelnú kompenzáciu a tak bude odolnejší voči teplotným výkyvom. RTC má funkciu na zmenu napájania obvodu.

Obvod 1307 vyžaduje 5,0V-ové napájacie napätie, čo by znamenalo viac súčiastok do môjho systému a neobsahuje ani tepelnú kompenzáciu. Preto som túto súčiastku vyhodnotil ako nevyhovujúci pre moju prácu.

Hodiny reálneho času M41 a BQ32000 som posúdil tiež ako nevyhovujúce súčiastky a to z dôvodu nedostatku tepelnej kompenzácie a ich vysokej energetickej spotrebe.

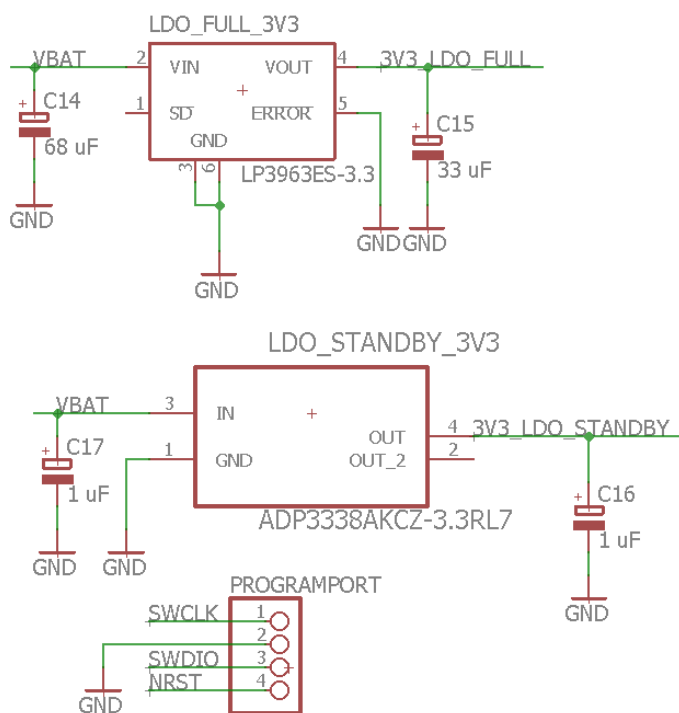
3.5 Low Dropout Regulátory (LDO)

Low-Dropout Regulátor alebo LDO je jednofázový lineárny napäťový regulátor, ktorý reguluje výstupné napätie. Výhodou LDO regulátora oproti DC-DC

regulátorom sú jeho malé rozmery a neprítomnosť spínacieho šumu. Nevýhodou LDO regulátoru však je, že musia rozptýliť výkon cez regulačné zariadenie, aby regulovali výstupné napätie. [21]

V mojom projekte som použil dva rôzne regulátory. Prvý regulátor LDO_STANDBY slúži na napájanie mikrokontroléra a hodín reálneho času.

Druhý regulátor LDO_FULL slúži na napájanie periférií počas aktivity.



Obr. 3.5 LDO regulátory a SWDIO v EAGLE

Aktivita periférií ako napríklad periodická snímání obrazu a periodická preposielania dát do hlavnej modulu cez RFM bude závisieť od nastavenia užívateľa. To znamená, že regulátor LDO_FULL sa zapne len počas aktívneho stavu FLATcon systému. Po aktivite mikroprocesor vypne regulátor LDO_FULL, aby koncové zariadenia nespotrebovali energiu.

Z toho vyplýva podmienka, aby regulátor LDO_FULL mal funkciu zapnutia a vypnutia.

Tab. 3.4 Porovnanie LDO regulátorov

Názov regulátora	NCP1117ST33T 3G	ADP3338AKCZ-3.3-RL	LDF33PT-TR	LP3963ES-3.3 /NOPB
Výrobce:	ON Semiconductor	Analog Devices Inc.	STMicroelectronics	Texas Instruments
Vst. Nap.	20 V	8 V	16 V	7 V
Max. výst. proud	1A	1A	1A	3A
Výst. nap.:	3.3 V	3.3 V	3.3 V	3.3 V
U _{LOWDROP} [mV]	800	190	500	80 pri 300mA 800 pri 3A
Max. prov. teplota:	+ 125 C	+ 85 C	+ 125 C	+ 125 C
Min. prov. teplota:	0 C	- 40 C	- 40 C	- 40 C
Cena v Kč	11.23	70.6	38.14	108.2

Za súčiastku LDO_FULL som vybral regulátor LP3963ES-3.3, ktorý disponuje funkciou ENABLE a má nízke Ulowdrop napätie. Prednosťou tohto regulátora je, že hodnota maximálneho výstupného prúdu je 3A.

Ako LDO_STANDBY regulátor som zvolil ADP3338AKCZ, lebo má takisto nízke Ulowdrop napätie (približne 0,2V). To znamená, že keď batéria klesne na 3,5 V-ovú hranicu, regulátor ešte stále bude schopný napájať mikroradič. Maximálny výstupný prúd má 1A, čo je postačujúce pre napájanie mikroprocesora a hodín reálneho času.

Pätný merač môže byť umiestnený aj vo vonkajšom prostredí, preto beriem do úvahy externé teplotné podmienky do -20 °C. Regulátor a NCP1117ST by tejto požiadavke nevyhovoval a preto som ho pri výbere súčiastok vylúčil.

3.6 Pamäť

Do systému FLATCON som naplánoval integrovanú pamäť typu EEPROM s 2 megabitovou kapacitou (256 Kbyte). Pamäť komunikuje s mikroradičom STM32 cez I2C rozhranie.

Túto pamäť som zvolil kvôli tomu, aby mikrokontrolér STM32 mal možnosť uložiť načítaný obraz z kamery a neskôr z pamäte vyčítať informácie a preposlať cez RFM modul.

Do môjho projektu som zvolil pamäť M24M02-DR s 256 Kbyte kapacitou. Táto pamäť vyžaduje napájacie napätie 1,8V až 5,5V [17]. FLATcon systém bude tento obvod napájať napätím 3,3V z regulátora LDO_FULL.

3.7 Batéria

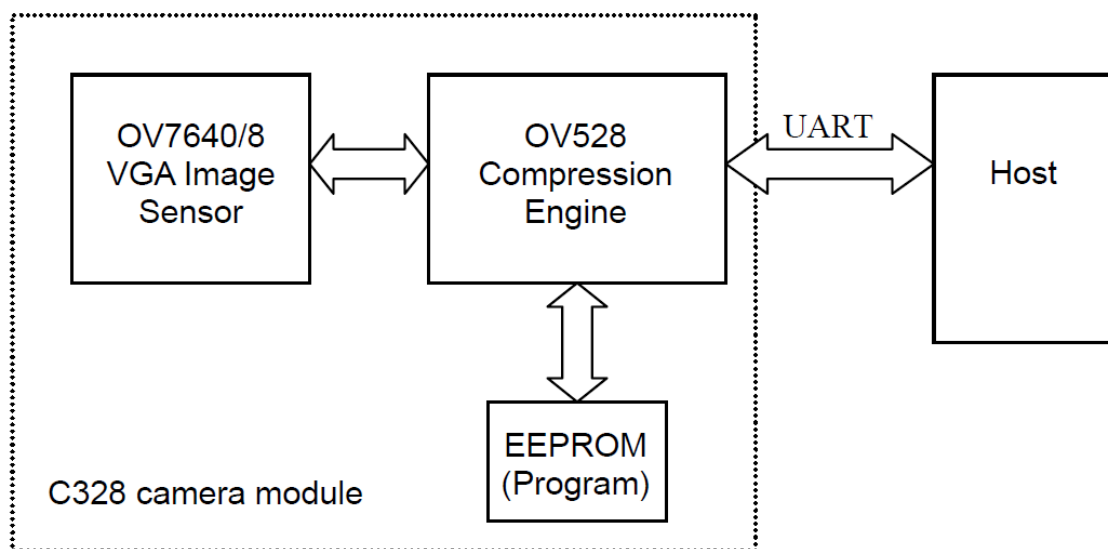
V mojej aplikácii používam dva LDO regulátory, ktoré budú napájané batériou. Vybral som batériu typu Lithium-Ion, kvôli jej dlhej životnosti. Jedna bunka tejto batérie má 4,3V napätie. Maximálne vstupné napätie pre LDO_FULL regulátor je 7V a pre LDO_STANDBY regulátor je 8V, takže 1 bunková batéria vyhovuje mojim požiadavkám.

3.8 Kamera

Ako CCD snímač som si zvolil kameru C328-7640. Integrovaná kamera sa dá používať ako videokamera alebo ako fotoaparát s výstupným formátom JPEG. Obsahuje JPEG konvertor a komunikuje cez UART rozhranie alebo RS-232 interface. Na komunikáciu medzi kamerou a mikrokontrolérom STM používam UART rozhranie. Kamera vyžaduje napájacie napätie 3,3V. Cez UART rozhranie môže dosiahnuť prenos dát JPEG obrazu rýchlosť 115,2 kbps.

Kamera má VGA farebný senzor OmniVision OV7640/8. Na kamerovom module je zabudovaný Compression engine. JPEG prevodník podporuje nasledovné rozlíšenia výstupného obrazu:

- 80x64 pixel
- 160x128 pixel
- 320x240 pixel
- 640x480 pixel



Obr. 3.6 Blokový diagram kamery C328 [15]

Kamera má 4,63 mm ohniskovú vzdialenosť a 57 stupňové zorné po diagonále.

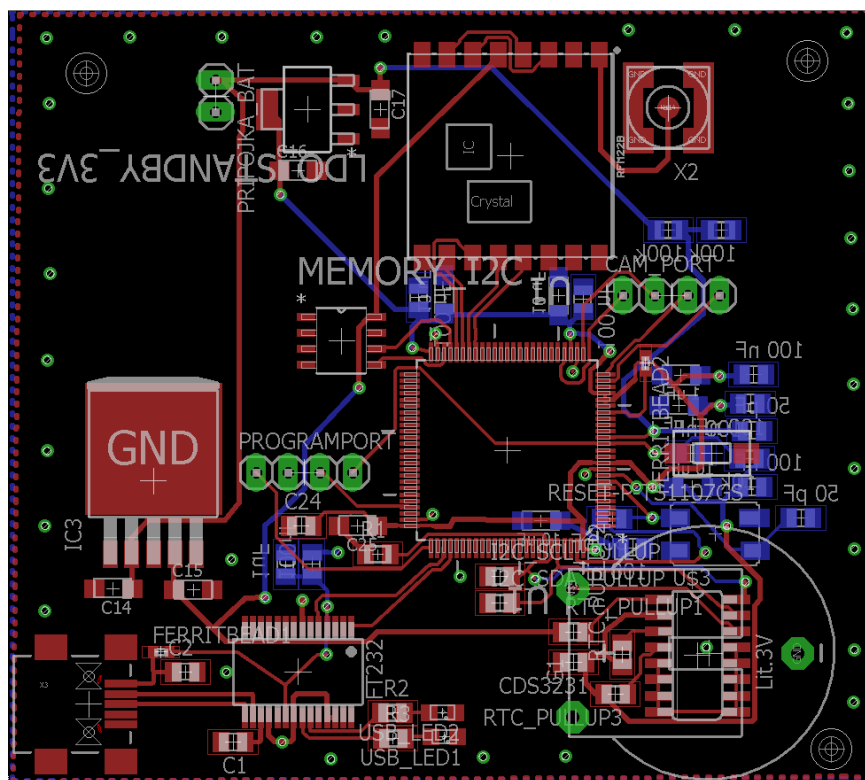
4 VYHOTOVENIE A OŽIVENIE HARDWÉRU

Táto kapitola sa zaoberá návrhom a spôsobom oživenia systému FLATcon. V prvej časti je uvedený popis vyhotovenia plošného spoja. V druhej časti sú uvedené spôsoby riešenia vzniknutých problémov pri oživení plošného spoja.

Zapojenie som zhotovil v programe Eagle verzii 7.6.0. Prídavné knižnice pre súčiastky ADP3338 LDO regulátor, FT232RL a RFM22B som stiahol z internetových zdrojov.

4.1 Vyhodenie DPS

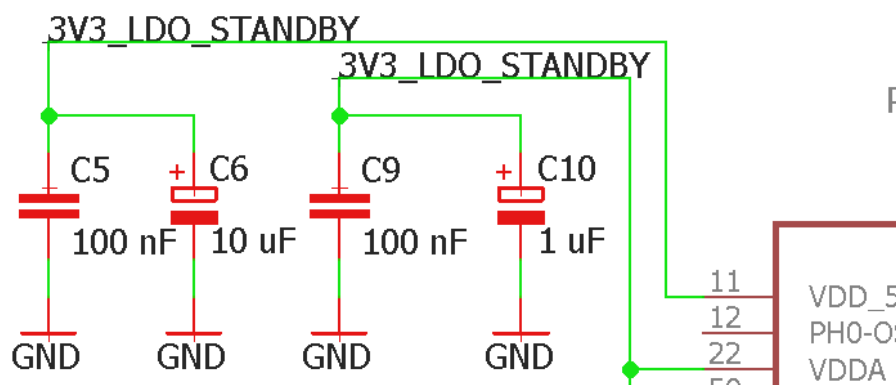
Návrh plošného spoja som vyhotovil v programe Eagle 8.1. Výsledná doska obojstranného plošného spoja je znázornená na obrázku 4.1.



Obr. 4.1 Dvojstranný DPS

Pri návrhu zapojenia som prihliadal na požiadavky výrobcov integrovaných obvodov. Na oživenie obvodu udávajú nevyhnutný počet súčiastok, ktoré je potrebné pripojiť na vývody integrovaného obvodu ako napríklad kondenzátory, odpory a podobne. Výrobcom integrovaných obvodov ďalej doporučujú umiestniť lokálne blokovacie a skupinové blokovacie kondenzátory čo najbližšie k vývodom obvodov RTC, FT232 a mikroprocesora. V prípade MCU je potrebné použiť

skupinové blokovacie kondenzátory. Na tento účel som v jednej skupine použil keramické a tantalové kondenzátory. Tieto skupinové kondenzátory slúžia ako zdroj energie v prípade krátkodobého zvýšeného odberu energie periférnych zariadení z FLATcon systému. Keramický kondenzátor pracuje na vysokej frekvencii a reaguje na výkyvy napájania rýchlejšie. Naproti tomu tantalový kondenzátor pracuje na nízkej frekvencii ale má vyššiu kapacitu.



Obr. 4.2 Zapojenie kondenzátorov na Vdd mikroprocesoru

Výrobca STM doporučuje pripojenie na všetky napájacie vstupy mikroprocesora 100nF-ový a 1μF-ový kondenzátor.

Pri návrhu obojstranného plošného spoja som sa snažil o logické usporiadanie súčiastok. Konektor USB som preto navrhol na okraj plošného spoja, vedenie z rádiovýfrekvenčného modulu do antény som navrhol čo najkratšie a chcel som, aby vedenie nemalo 90 stupňové spoje.

Na celej plošnej doske som okolie vodičov polial výplňou. Táto výplň má za účel viesť signál GND. Výplne som spravil na oboch stranách plošného spoja. Na okrajoch DPS som vytvoril priechodné otvory (tzv. VIA) s prekovanou medenou výplňou a tak som docielil prepojenie GND signálov na oboch stranách plošného spoja.

Prednosťou týchto otvorov je, že signály GND sú na oboch stranách prepojené na jeden potenciál. Ak by bol plošný spoj umiestnený blízko vysokofrekvenčného vysielača, tak sa rušivý signál viac zahltí.

Obvod s hodinami reálneho času som osadil pod držiak batérie CR3032, ktorý zároveň slúži ako sekundárne napájanie RTC.

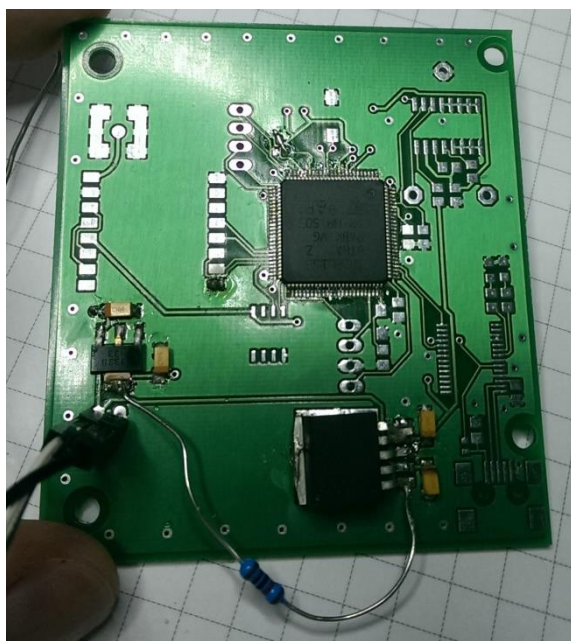
4.2 Napájanie a oživenie

Pri oživení som použil laboratórny zdroj s ochranou proti skratu, aby počas oživenia nedošlo k zneškodneniu regulátora alebo mikrokontroléra.

Po napájkovaní mikroradiča STM32 som osadil dva LDO regulátory. Na výstupe LDO_STANDBY som napájkoval 1 μF kapacitor. Tento blokovací kapacitor bol

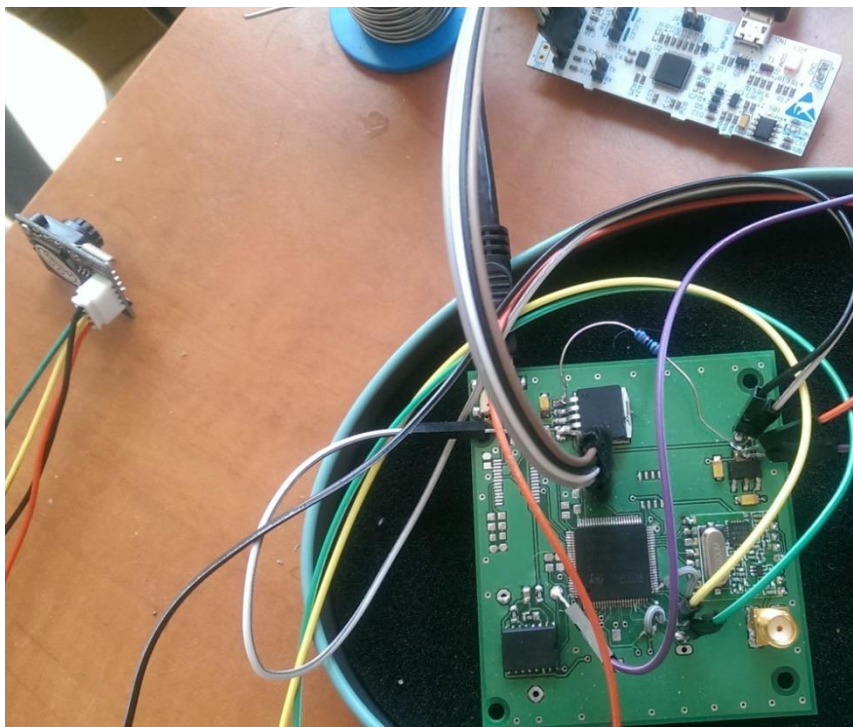
odporúčený výrobcom. Slúži na to, aby ustálil napätie aj v prípade impulzného odberu energie.

Po zaletovaní LDO_FULL som napojil laboratórny zdroj s 5V napätím. Po nameraní výstupného napätia LDO_FULL bola hodnota napätia nulová. Na výstupe LDO_STANDBY však bolo napätie 3,3V. Po skontrolovaní čipu LDO_FULL som prišiel na to, že mi bolo omylom doručené iné púzdro regulátora, ktorý má odlišné rozdelenie vývodov. Púzdro, ktoré som osadil do DPS je zapnuté cez SD vývod v tom prípade, ak je vývod SD v stave logickej 1. Problém som dočasne vyriešil prepojením výstupného napätia z regulátora LDO_STANDBY na SD vývod regulátora LDO_FULL. Toto dočasné riešenie prostredníctvom prepojenia odporu je znázornené na obrázku 4.2. Následne som musel riešiť problém hodnoty výstupného napätia. Na výstupe regulátora bolo rovnaké napätie ako na vstupe. Toto púzdro vyžadovalo prepojenie vývodu SENSE s pinom výstupného napätia, aby na výstupe regulátora bola hodnota 3,3 V.



Obr. 4.3 Napájanie a oživenie

Počas kontroly správnosti napätia a uzemnenia na mikrokontrolére mi laboratórny zdroj zaznamenal skrat. Skrat som identifikoval postupným prerušovaním spojenia medzi zdrojom a zemou. Dospel som k záveru, že sa chyba stala v preklepe pri návrhu systému v Eagle. Na vývode Vref som totiž pripojil 3V3_LDO_STANDBY1 namiesto správneho napätia 3V3_LDO_STANDBY. Po odstránení tejto chyby boli napájacie vývody mikrokontroléra Vdd na hodnote 3,3V a systém FLATcon bol oživený.



Obr. 4.4 Testovanie kamery a RTC

5 PROGRAMOVANIE MIKROREDIČA

V tejto kapitole je opísané programové prostredie, pomocou ktorého som vytvoril software mikroprocesora STM32. Ďalej sú opísané programy pomocou ktorých, som testoval komunikáciu medzi mikroprocesorom a periférnymi zariadeniami.

5.1 Atollic TrueStudio

V mojej práci som na programovanie STM32 mikroradiča použil programovacie prostredie Atollic TrueStudio. Tento program je zdarma dostupný na stránkach STM.

Do tohto programu som zabudoval plugin CubeMX. Tento grafický nástroj vypomáha s konfigurovaním softvéru, ktorý umožňuje generovanie inicializačného kódu C pomocou grafických sprievodcov.

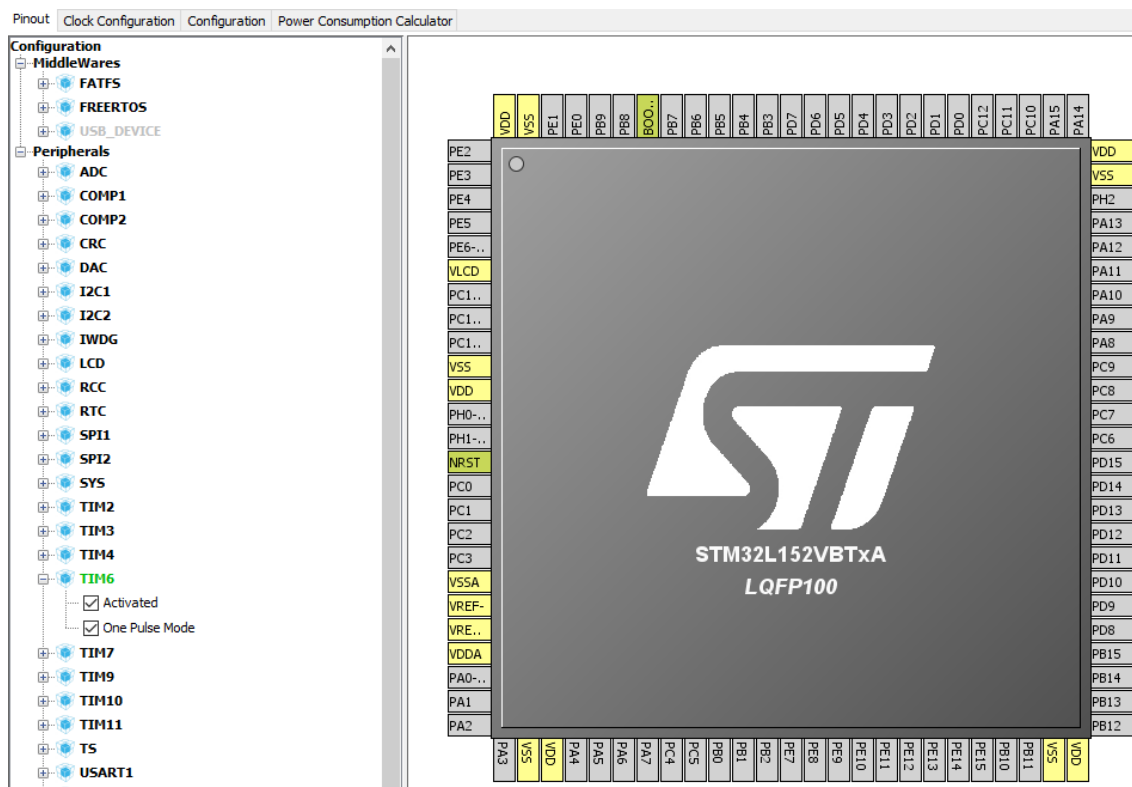
5.1.1 Zabudovanie STM32CubeMX do TrueStudio

STM32CubeMX je grafický nástroj, ktorý pomáha mikroprocesoru dynamickým nastavením validácie hodinového pulzu, kontroluje konflikty nastavených vývodov a generuje kódu C, ktorý inicializuje STM32 mikroprocesor v súlade s kompilátormi IAR™, Keil™ a GCC [22].

Po vygenerovaní kódu sa otvorí programová kostra v programovacom prostredí TrueStudio. V tomto kóde sú automaticky zavolané všetky knižnice a konfigurácie vývodov, ktoré boli nastavené v CubeMX.

Môj zvolený mikrokontrolér má 100 vývodov a väčšinu z nich je možné premenovať a nakonfigurovať na viaceré funkcie. Vývody, ktoré nie sú obsadené sa dajú nastaviť ako analógový vstup pre optimalizáciu spotreby energie.

Vstupy a výstupy, ktoré sú napevno zadefinované výrobcom sú na obrázku 5.1 vyznačené žltou farbou.

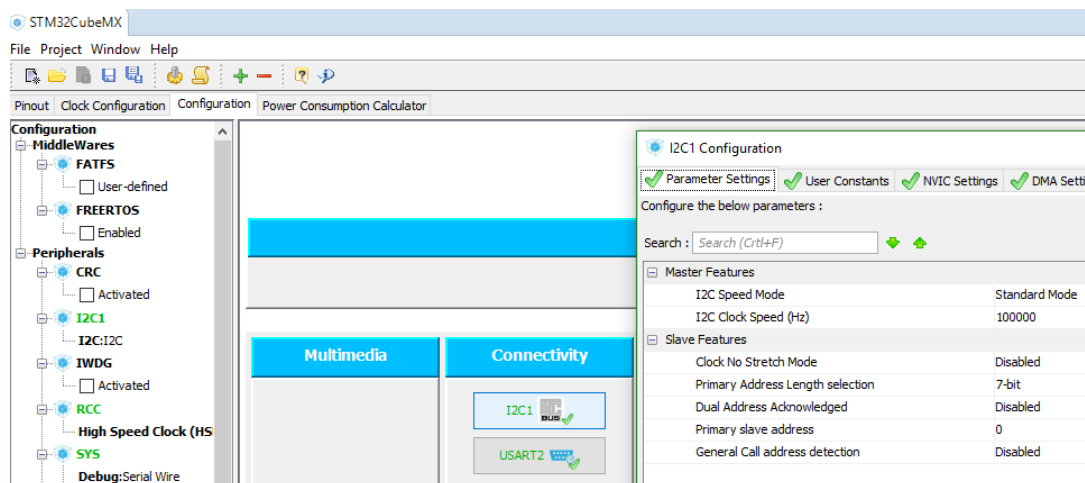


Obr. 5.1 Nastavenie vývodov v CubeMX

Pomocou tohto programu som nastavil vstupy a výstupy pre komunikáciu s perifériami, programovacie vývody pre rozhranie SWDIO, zabudovaný generátor hodinového pulzu, časovače a interrupty.

Pod položkou Clock configuration sa dá nastaviť frekvenčný strom MCU. Defaultne sa použije vstupná frekvencia HCLK 2,097 MHz. CubeMX vygeneruje programovú kostru, ktorá sa v hlavnej funkcii ešte dá dodatočne preprogramovať.

Pod položkou Configuration sa dajú nadefinovať priradené periférie k MCU. Po kliknutí na daný výstup sa dajú nastaviť parametre komunikácie ako napríklad baudrate, dĺžka slova, paritový bit, stop bity, povolenia prerušení a iné. Na obrázku 5.2 sú znázornené nastavené parametre cez rozhranie I2C.



Obr. 5.2 Nastavenie periférií v CubeMX

Po zadefinovaní funkcií vývodov som nastavil generovanie projektu. Po vygenerovaní programovej kostry som otvoril hlavnú funkciu a HAL drivery pre STM32 mikroradič v TrueStudio.

5.2 Programovanie periférií

Po úspešnom oživení plošného spoja som začal programovať komunikačné rozhranie medzi mikrokontrolérom a periférnymi zariadeniami krok po kroku. Každé rozhranie som programoval v osobitnom projekte. Mikroprocesor som programoval cez SWDIO rozhranie.

5.3 Hodiny reálneho času cez I2C

Hodiny reálneho času (RTC) komunikujú s mikroprocesorom (MCU) cez I2C rozhranie. Toto rozhranie vyžaduje SDA signálový kanál a SCL kanál hodinového signálu. RTC má napájanie 3,3V z regulátora LDO_STANDBY. Ako sekundárny zdroj som navrhol záložný batériový zdroj na vstup Vbat. V prípade výpadku LDO regulátora alebo napájania z batérií FLATcon systému, RTC bude stále aktívny zo sekundárneho zdroja batérií.

V prípade, keď je regulátor LDO_FULL zapnutý, tak výstup RTC bude fungovať z niektorého napájacieho zdroja podľa tabuľky z obrázku 5.5.

Napätia Vcc a Vbat sú sledované komparátorom. Keď Vcc (LDO_STANDBY) je pod úrovňou Vpf (power fail) napätia a Vcc je tiež menšie ako Vbat, tak obvod je napájaný z Vbat. V ostatných prípadoch sa obvod napája z Vcc.

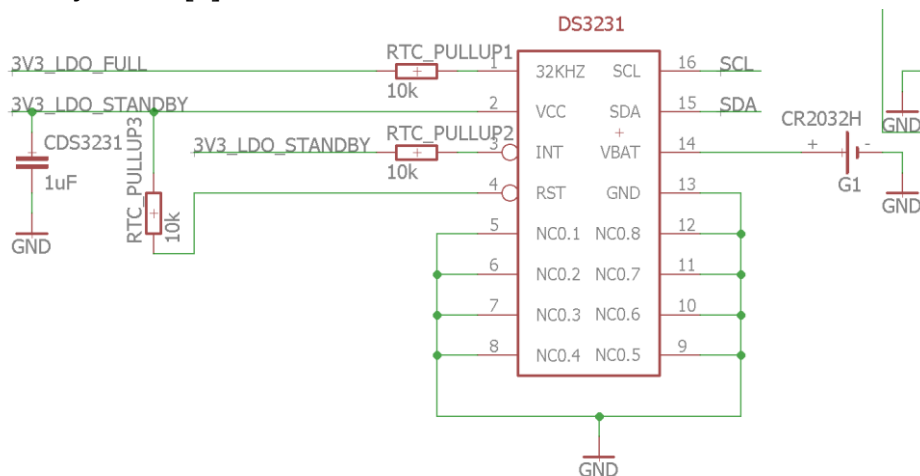
Vpf je vlastne číselná hodnota v registri (od 2,45V do 2,70V, ale typicky 2,575V). [5]

Table 1. Power Control

SUPPLY CONDITION	ACTIVE SUPPLY
$V_{CC} < V_{PF}, V_{CC} < V_{BAT}$	V_{BAT}
$V_{CC} < V_{PF}, V_{CC} > V_{BAT}$	V_{CC}
$V_{CC} > V_{PF}, V_{CC} < V_{BAT}$	V_{CC}
$V_{CC} > V_{PF}, V_{CC} > V_{BAT}$	V_{CC}

Obr. 5.3 Napájanie RTC [15]

Všetky výstupy N.C. 5 až 12 a GND musia byť zapojené na zem podľa katalogového listu výrobcu. [5]



Obr. 5.4 Zapojenie RTC v Eagle

Cieľové zariadenie je modul hodiny reálneho času, ktorý má 7-bitovú prednastavenú hexadecimálnu adresu 0x68 (1101000 binárne). Túto adresu som definoval v programe ako DS3231_ADD. Sériová komunikácia cez I2C obsahuje 8 bitov, preto sa musí táto adresa posunúť doprava o 1 bit.

Po spustení programu sa v hlavnej funkcii zavolajú inicializačné funkcie (ako napríklad HAL_Init, SystemClock_Config, MX_I2C1_Init a.i.).

Naprogramoval som dve funkcie BCD2DEC a BCD2DEC, aby som prekonvertoval hexadecimálne čísla na binárne a naopak. Vstupná a výstupná premenná do funkcie je typu int. Funkcie slúžia na to, aby výsledok bol prehľadnejší počas debugovania a volal som ich prostredníctvom HAL_I2C_MemRxCpltCallback funkcie.

5.3.1 Zápis do RTC

Sériový signál a clock signál sú prijaté prostredníctvom SDA a SCL vedení. Po každom prijatom bajte sa vysiela potvrdzovací bit. Podmienky START a STOP znamenajú začiatok a koniec sériového prenosu. Hardware rozpozná adresu

registra v RTC po prijatí svojej zadefinovanej adresy a smerového bitu. Sedem bitová adresa hodín reálneho času DS3231 je 1101000 a po prijatí tejto adresy musí RTC dostať nulový bit, ktorý indikuje smer písania do DS3231.

Na zápis do RTC slúžia dve funkcie programu TrueStudio:

- HAL_I2C_Mem_Write
- HAL_I2C_Mem_Write_IT

HAL_I2C_Mem_Write napíše určené množstvo dát v blocking režime na určenú adresu pamäte. V protiklade s Write_IT má ešte jeden parameter a to je timeout interval.

HAL_I2C_Mem_Write_IT napíše určené množstvo dát v non blocking režime s prerušením na konkrétnu adresu pamäte.

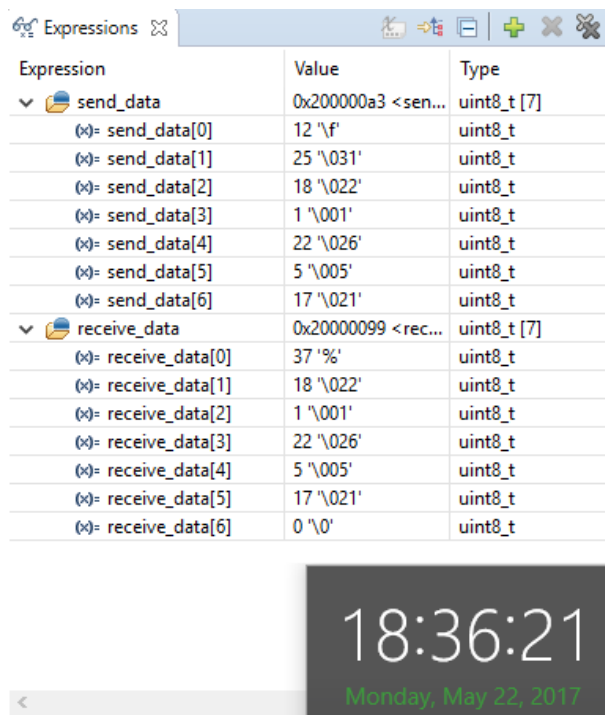
V mojom programe využívam funkciu pre inicializáciu RTC a nastavenie TIMER-ov: HAL_I2C_Mem_Write_IT

(&hi2c1,DS3231_ADD<<1,0,I2C_MEMADD_SIZE_8BIT,send_data,7); kde

- &hi2c1 = adresa aktívneho I2C výstupu z STM32 mikroradiča,
- DS3231_ADD = premenná, ktorú som definoval ako adresu čipu DS3231 podľa katalógového listu (1101000). Táto adresa je posunutá o 1 bit vpravo.
- 0 = smer písania do RTC.
- I2C_MEMADD_SIZE_8BIT = vygenerovaná premenná v kostre programu, ktorú generoval CubeMX. Táto hodnota značí osem bitovú komunikáciu medzi STM32 a DS3231.
- send_data = sedemčlenné pole bajtového typu send_data[6]. Do tohto pola sa dá napísať čas, dátum, mesiac a rok.
- 7 = množstvo odosielaných údajov

5.3.2 Čítanie z RTC

Podobne ako pri zápise tak aj pri čítaní mikroprocesor STM32 vysiela sériový signál cez vedenie SDA a SCL. Po sedem bitovej adrese 1101000 je potrebné, aby nasledovala logická 1, ktorá určuje smer čítania.



Obr. 5.5 Vyčítané dáta z RTC

Na obrázku 5.5. je znázornené úspešné testovanie komunikácie s RTC cez I2C rozhranie. Na obrázku 5.6 je v tabuľke znázornená adresová mapa registrov hodín reálneho času. Z tejto tabuľky vyplýva, že zápis dátumu a času do RTC je možné so 7 bajtovým poľom, v ktorom prvý prvok reprezentuje sekundy a posledný reprezentuje roky.

Na začiatku testu som zadal časový údaj 18 hodín a 25 minút a následne som vyčítal dáta z registrov RTC. Tieto dáta som uložil do pola receive_data. Počas čítania sa vyskytla chyba a do pola receive_data sa hodnoty posunuli. Zobrazila sa výsledná hodnota 18 hodín 37 minút.

Adresy registrov času sú znázornené v tabuľke na obrázku 5.6:

ADDRESS	BIT 7 MSB	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0 LSB	FUNCTION	RANGE
00h	0	10 Seconds			Seconds				Seconds	00–59
01h	0	10 Minutes			Minutes				Minutes	00–59
02h	0	12/24	AM/PM 20 Hour	10 Hour	Hour				Hours	1–12 + AM/PM 00–23
03h	0	0	0	0	0	Day			Day	1–7
04h	0	0	10 Date		Date				Date	01–31
05h	Century	0	0	10 Month	Month				Month/ Century	01–12 + Century
06h	10 Year				Year				Year	00–99

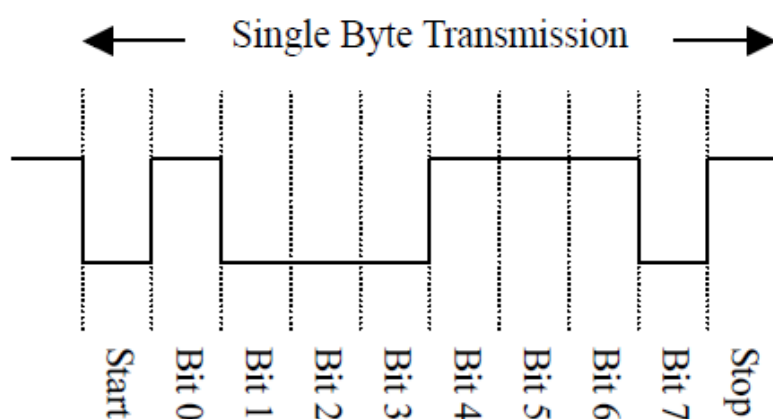
Obr. 5.6 Registre hodín reálneho času [15]

Hodiny reálneho času DS3231 obsahujú ešte viac registrov pre funkcie ALARM. Po nastavení alarm registrov bude obvod sledovať registre času a registre alarmu. V prípade zhody hodnôt obidvoch registrov, RTC prevedie výstup INT do stavu logickej 1 (zjednodušene povedané, zapne sa budík).

5.4 Kamera C328 cez UART rozhranie

Kamera C328 komunikuje cez UART rozhranie. UART rozhranie mikroprocesora je schopné komunikovať rýchlosťou 131062 bps baudrate a kamera je schopná komunikovať rýchlosťou 115200 bps baudrate. [16] [15]

Výrobca kamery UART zadefinoval jeden bajtový prevod s jedným START bitom, ôsmimi dátovými bitmi a posledným STOP bitom. Prevod neobsahuje kontrolný paritový bit.



Obr. 5.7 Jeden bajtový prevod z kamery [15]

Tieto požiadavky som nastavil počas konfigurovania periférií v CubeMX. Štartovací bit je logická 0 a STOP bit je logická 1. Jeden príkaz sa skladá zo šiestich bajtov.

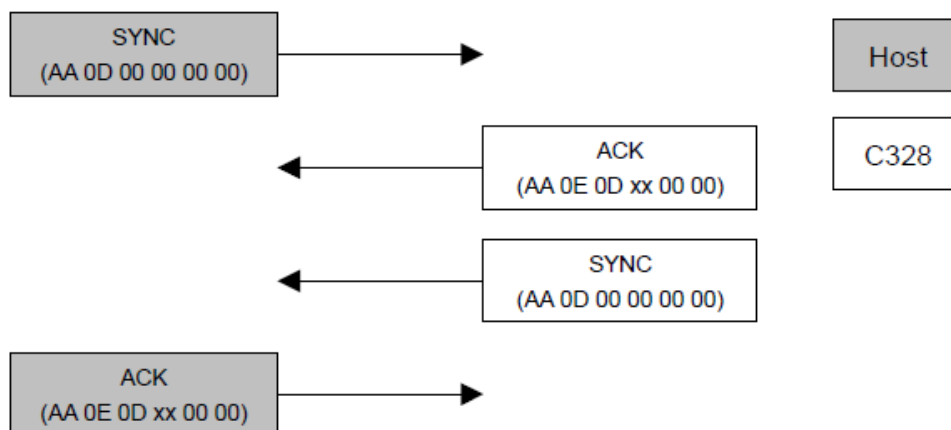
Pre štartovanie komunikácie je potrebné vyslať synchronizačný príkaz z mikroprocesora do kamery. Signál SYNCH je špecifický, hexadecimálne to vyzerá nasledovne: AA 0D 00 00 00 00. Tento šesť bajtový signál sa vysieľa po UART rozhraní s 14 400 bps baudratom dovedy, kým kamera neodpovie ACK a SYNCH signálom (AA 0E 0D xx 00 00 a AA 0D 00 00 00 00). Namiesto údajov xx kamera dosadí hodnotu poradia odpovede. Po prijatí potvrdení z kamery je baudrate naprogramovateľná v mikroprocesore na tieto hodnoty: 7200bps, 9600 bps, 14400 bps, 19200 bps, 28800 bps, 38400 bps, 57600 bps, 115200 bps. Kamerový modul automaticky rozpozná baudrate prijatých správ a bude ho používať pokiaľ má napájacie napätie.

SYNCH signál z STM32 sa vysieľa najviac 60 krát, ale obvykle už po 25 vyslaniach kamera C328 odpovie ACK signálom a následne posiela kamera SYNCH signál späť

do mikroradiča. Po prijatí SYNCH signálu z kamery, MCU vyšle ACK signál a tým je komunikácia ustanovená.

Command Protocol

1. SYNC Command



Obr. 5.8 C328 synchronizačný protokol [15]

V programe TrueStudio som testoval túto komunikáciu v debug móde. Na obrázku 5.9 je znázornená prichádzajúca odpoveď ACK a SYNC signály z kamery v poli Buffer12.

Pri komunikácii som použil funkciu HAL_UART_Receive_IT(&huart2, Buffer12,12). Vo funkcii prijímam 12 bajtov a tieto dáta sa zapíšu do pola Buffer12.

Expressions		Buffer12	
Expression	Value		
command	0x2000004C		
(x)= command[0]	170 'a' AA	(x)= Buffer12[0]	170 'a' AA
(x)= command[1]	13 '\r' 0D	(x)= Buffer12[1]	14 '\016' 0E
(x)= command[2]	0 '\0' 00	(x)= Buffer12[2]	13 '\r' 0D
(x)= command[3]	0 '\0' 00	(x)= Buffer12[3]	1 '\001' 01
(x)= command[4]	0 '\0' 00	(x)= Buffer12[4]	0 '\0' 00
(x)= command[5]	0 '\0' 00	(x)= Buffer12[5]	0 '\0' 00
		(x)= Buffer12[6]	170 'a' AA
		(x)= Buffer12[7]	13 '\r' 0D
		(x)= Buffer12[8]	0 '\0' 00
		(x)= Buffer12[9]	0 '\0' 00
		(x)= Buffer12[10]	0 '\0' 00
		(x)= Buffer12[11]	0 '\0' 00

Obr. 5.9 Prijaté ACK a SYNC signály z kamery C328 [15]

Príkaz HAL_UART_Receive_IT(&huart2, &Byte_Buffer, 1) prijíma dané množstvo údajov v režime interrupt, kde huart2 je ukazovateľ na štruktúru, ktorý obsahuje informácie o konfigurácii pre daný UART vývod. V mojom prípade je to UART2 na pinoch PA2 (STM TX) a PA3 (STM RX). Druhý parameter je ukazovateľ na

premennú, do ktorého sa načíta počet prijatých dát. Posledný parameter funkcie určuje počet dát na prijatie. Množstvo prijatých dát nemôže byť nula a ukazovateľ na buffer nemôže ukazovať na null, inak funkcia hlási chybu. V prípade, ak vstupný register nedostane určený počet dát, tak funkcia HAL_UART_ErrorCallback obsluhuje prípad chyby.

Počas testovania som použil aj ukazovateľ na jednu premennú a prijímal som bajt po bajte z RX registra mikroprocesora a použil som aj ukazovateľ na pole šiestich prvkov. Každý príkaz smerom do kamery alebo z kamery obsahuje 6 bajtov. V prípade prijímania príkazu som použil príkaz HAL_UART_Receive_IT(&huart2, Buffer,6), kde Buffer je ukazovateľ na šesťčlenné pole.

Po rozbehnutí komunikácie som nastavil nový baudrate na 115200 bps a preposlal konfiguračné príkazy do kamery funkciami:

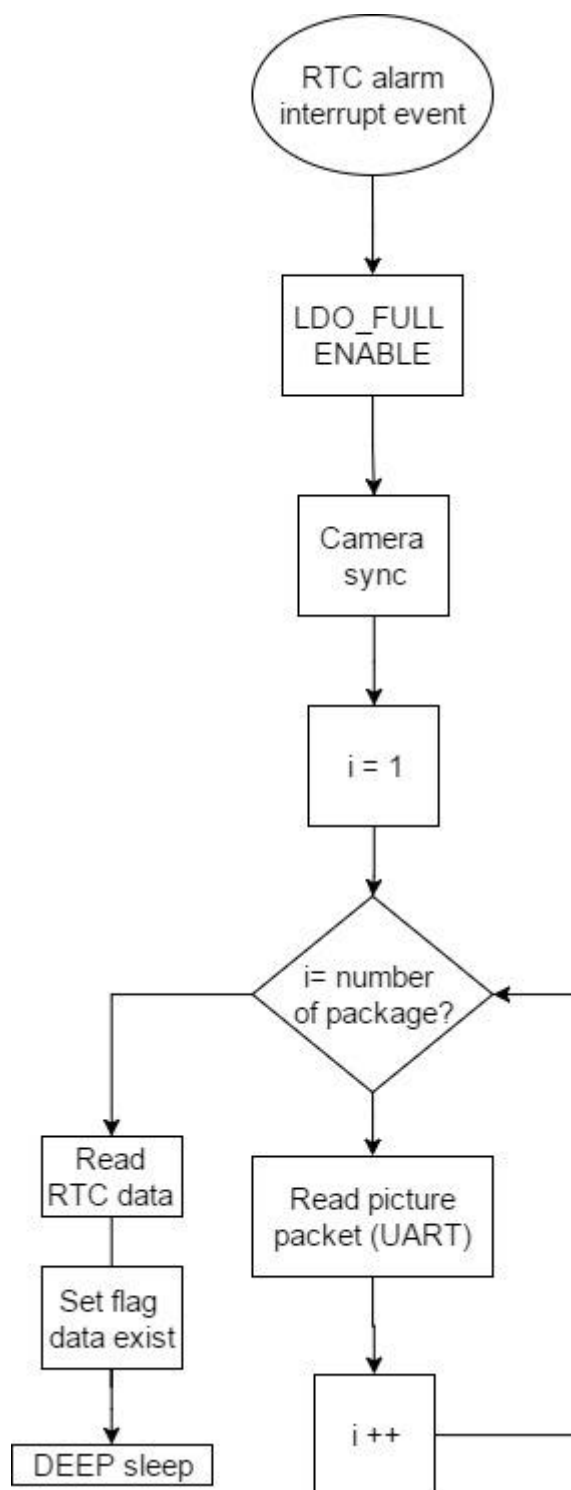
- camera_init(CT_JPEG, PR_160x120, RESOLUTION);
- camera_package_size(PACKAGE_SIZE);
- camera_light_freq(FT_60HZ);

Po každom vyslaní konfiguračného príkazu som prijal ACK packet z kamery. Funkciou send_snapshot_cmd() som vyslal príkaz zachytenia obrazu a následne kamera odpovedala ACK packetom a dátovými packetmi veľkosti PACKAGE_SIZE.

Počet prijatých dát sa dá vypočítať rovnicou:

$$\text{Number of package} = \frac{\text{Image size}}{(\text{Package size} - 6)} , \quad (5.1)$$

kde Number of package je počet prijatých dátových packetov, Image size je nadefinovaná veľkosť obrazu (80x64, 160x128, 320x240, 640x480). 6 bajtov treba odrátať z každého dátového packetu. Robíme to preto, lebo header zaberá 6 bajtov z preposlaného packetu a obsahuje svoje ID číslo, veľkosť packetu a overovací kód.



Obr. 5.10 Vývojový diagram uloženie dát z kamery

6 ZÁVER

Bakalárska práca nadväzuje na moju semestrálnu prácu, ktorej cieľom bolo navrhnúť FLATcon systém pre detekciu pätných meračov s CCD detektorom a RF komunikáciou. Systém má za úlohu nasnímať obraz pätného merača CCD kamerou, zaznamenať čas snímania a preniesť dáta cez rádiový modul. Účelom systému je registrovanie údajov číselníka pätného merača, času snímania a ďalšieho preposlania týchto dát do centrálnej FLATcon jednotky.

Ako CCD detektor som zvolil kameru C328-7640 s rýchlosťou komunikácie 115,2Kbps, s rozlíšením 640x480 pixlov a UART komunikáciou. Kamera sa napája 3,3V napätím. Kamerový modul obsahuje zabudovaný JPEG compression engine, pomocou ktorého sa dá získať JPEG obraz.

Ako rádiový modul som zvolil RFM22B s 868MHz komunikáciou. Tento kompaktný transceiver modul vyhovuje do miniatúrnych zariadení napájaných batériou a pre svoju nastaviteľnosť vysielacieho výkonu vyhovuje normám platným na území Českej a Slovenskej republiky.

6.1 Zhodnotenie súčasného stavu

Po teoretickom rozbere som navrhol systém napájaný z batérie. Hlavná jednotka systému je mikroprocesor z rodiny STM32L1, ktorý je svojou nízkou spotrebou vhodný pre batériové napájanie systému.

V programe Eagle som navrhol koncepciu systému a obvody schéma plošného spoja. Dosku dvojstranného plošného spoja mi vyhotovila profesionálna firma.

Pri objednávke súčiastok sa vyskytli menšie problémy ako napríklad dlhšia čakacia doba či zaslanie nesprávnej súčiastky. To spôsobilo časovú tieseň pri osadzovaní a testovaní plošného spoja.

Na plošný spoj som osadil regulátory, USB konektor a mikroprocesor a oživil som ich. Počas testovania som použil laboratórny zdroj pre napájanie systému.

Napísal som testovacie programy pre komunikáciu procesora s hodinami reálneho času a kamery. Následne som úspešne otestoval ich funkčnosť.

Z vyššie uvedených dôvodov som už nestihol realizovať testovanie komunikácie RFM modulu s procesorom.

Vývojový diagram hlavného programu je znázornený v prílohe č.3.

6.2 Návrh ďalšieho postupu

Pri ďalšom postupe plánujem dokončiť testovanie rádiovýfrekvenčného modulu, finalizovať programové vybavenie FLATcon systému, ktorý bude implementovaný do mikroprocesora.

Ďalšou možnosťou pokračovania projektu je testovanie rôznych druhov batérií, kamier a rádiovýfrekvenčných modulov.

Súčiastky FLATcon systému komunikujú na rôznych komunikačných rozhraniach (UART, SPI a I2C). Pre zjednodušenie komunikácie medzi periférnymi zariadeniami by som vybral súčiastky s rovnakým komunikačným rozhraním.

Ďalej je možné rozvíjať komunikáciu medzi RFM modulmi šifrovaním komunikácie.

Zoznam použitých zdrojov

- [1] *Texas Instruments: USART User guide* [online], [cit. 2017-01-08] Dostupné na URL: http://www.ti.com/sc/docs/products/micro/msp430/userguid/ag_12.pdf
- [2] *venergetike: Slovenskom sa už šíria múdre elektromery* [online], [cit. 2017-05-24] Dostupné na URL: <http://venergetike.sk/special-slovenskom-sa-uz-siria-mudre-elektromery/>
- [3] *Wikipedia: Serial Peripheral Interface Bus* [online], [cit. 2017-05-24] Dostupné na URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface_Bus
- [4] *Pavel Ripka, Stanislav Ďaďo, Marcel Kreidl, Jiří Novák: Senzory a převodníky. České vysoké učení, Praha, 2005.*
- [5] *DS3231 Datasheet (PDF) - Dallas Semiconductor* [online] [cit. 2017-5-23] Dostupné na URL: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/112132/DALLAS/DS3231.html>
- [6] *Program povelu HDO*, [online] [cit. 2016-1-10] Dostupné na URL: <https://www.predistribuce.cz/Files/potrebuji-zaridit/stav-hdo/aktualni-program-hdo-ke-stazeni/>
- [7] *Antonín Handl: užívání hodin reálného času DS1307 a DS3231 s Arduinem* [online], aktualizováno 2015-01-23 [cit. 2017-01-10] Dostupné na URL: <https://arduino.cz/tutorial-uzivani-hodin-realneho-casu-ds1307-a-ds3231-s-arduinem/>
- [8] *Hoperf electronic: RFM22B/23B* [online], aktualizováno 2006 [cit. 2016-01-10] Dostupné na URL: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/General/RFM22B.pdf>
- [9] *Reklamná agentura ENTERPRISE.: Druhy určených meradiel* [online], aktualizováno 2013 [cit. 2017 01 08]. Dostupné na URL: http://www.slm.sk/?legislativa_druhy-urceny-meradiel.html
- [10] *Wikipédia: Sériová komunikácia* [online], aktualizováno 2016-04-12 [cit. 2017 01 08] Dostupné na URL: https://sk.wikipedia.org/wiki/S%C3%A9riov%C3%A1_komunik%C3%A1cia
- [11] *Texas Instruments: UART User guide* [online], aktualizováno 2010-10 [cit. 2017-01-08] Dostupné na URL: <http://www.ti.com/lit/ug/sprugp1/sprugp1.pdf>
- [12] *Texas Instruments: SPI User Guide* [online], aktualizováno 2012-03 [cit. 2017-01-08] Dostupné na URL: <http://www.ti.com/lit/ug/sprugp2a/sprugp2a.pdf>
- [13] *Texas Instruments: Understanding the I2C Bus* [online], aktualizováno 2015-06 [cit. 2017-01-09] Dostupné na URL: <http://www.ti.com/lit/an/slva704/slva704.pdf>
- [14] *FTDI Chip: FT232R USB UART IC* [online], aktualizováno 2015-11-18 [cit. 2017-01-10] Dostupné na URL: http://www.mouser.com/ds/2/163/DS_FT232R-11534.pdf

- [15] *C328-7640 USER MANUAL*: [online], aktualizováno 2004.08.19 [cit. 2017-01-10] Dostupné na URL: https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Imaging/C328_UM.pdf
- [16] *Mauser electronics: STM32L152VBTA6* [online] aktualizováno 2017 [cit. 2017-04-22] Dostupné na URL: <http://www.mouser.com/ds/2/389/DM00078689-524617.pdf>
- [17] *STMicroelectronics: M24M02-DR* [online] aktualizováno 2017 [cit. 2017-05-24] Dostupné na URL: http://www.st.com/content/st_com/en/products/memories/serial-eeeprom/standard-serial-eeeprom/m24m02-dr.html
- [18] *FTDIChip: FTContact* [online] aktualizováno 2017 [cit. 2017-05-24] Dostupné na URL: <http://www.ftdichip.com/FTContact.htm>
- [19]. *SILabs: Contact-us* [online] aktualizováno 2017 [cit. 2017-05-24] Dostupné na URL: <http://www.silabs.com/about-us/contact-us>
- [20]. *Mauser: hlavná stránka* [online] aktualizováno 2017 [cit. 2017-05-25] Dostupné na URL: <http://www.mouser.sk/>
- [21]. *Wikipedia: Low-dropout regulator* [online] aktualizováno 2017 [cit. 2017-05-27] Dostupné na URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Low-dropout_regulator
- [22]. *st: stm32cubemx* [online] aktualizováno 2017 [cit. 2017-05-27] Dostupné na URL: <http://www.st.com/en/development-tools/stm32cubemx.html>

Zozname symbolov, veličín a skratiek

FEKT	-	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
VUT	-	Vysoké učení technické v Brně
Vpf		Power fail voltage
RTC		Real time clock
MCU		Microcontroller unit
tzn.		To znamená
tzv.		takzvané
t.j.		to jest
a.i.		a jiné

Zoznam príloh

Príloha 1. Zdrojové texty

Príloha 2. CD

Príloha 3. Vývojový diagram programu

Príloha č. 3. Vývojový diagram systému

